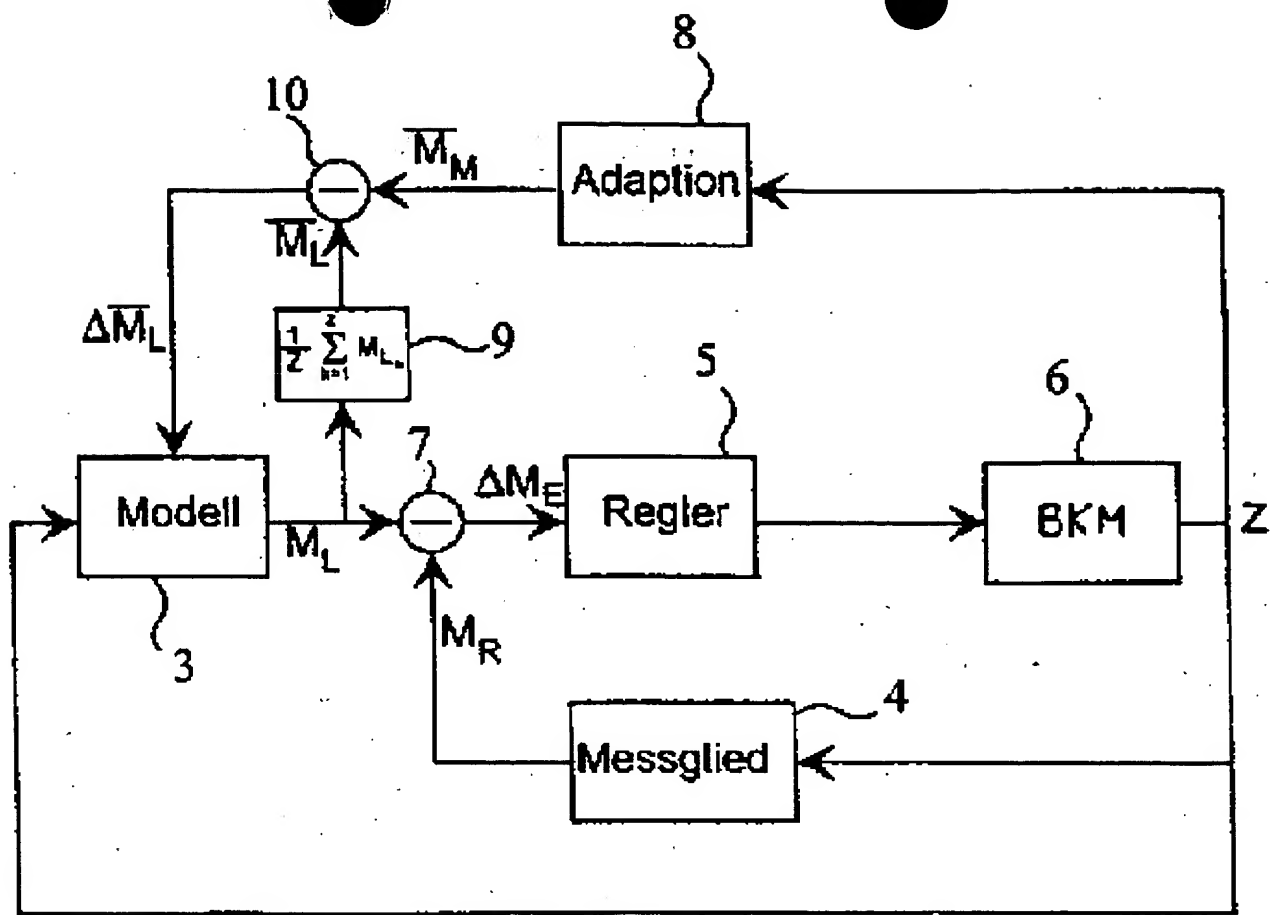


AN: PAT 1999-072180  
TI: Multi-cylinder fuel injected IC engine running smoothness control method involves determining state variables of engine at regular intervals to form model with estimates of characteristic process variable representing desired value of engine control  
PN: **DE19741965**-C1  
PD: 21.01.1999  
AB: A method for controlling the running smoothness of a multi-cylinder combustion engine, in which the rotation acceleration of each individual cylinder is determined, and deviations between the individual cylinders are balanced out by altering the allotted fuel quantities for each individual cylinder. Regularly determined state variables (Z) of the engine (6) are measured, and a model (3) from these condition variables (Z) estimates a characteristic process variable (M1) which represents a desired value of engine control. An instantaneous actual value (Mr) is determined from a measured state variable (Z) corresponding to the desired value, in which the rotary acceleration contribution of each individual cylinder is entered into the actual value (Mr). A control difference (deltaMe) for a controller (5) is formed from the desired values (M1) and the actual value (Mr), and corrects combustion in the individual cylinders so that the control difference (deltaMe) is minimal.; Improved method for determining running smoothness of multi-cylinder IC engine.  
PA: (SIEI ) SIEMENS AG;  
IN: HARTKE A; HEINITZ D; PRZYMUSINSKI A;  
FA: **DE19741965**-C1 21.01.1999; GB2329979-B 10.10.2001; GB2329979-A 07.04.1999; FR2768772-A1 26.03.1999; US6085143-A 04.07.2000;  
CO: DE; FR; GB; US;  
IC: F02D-041/04; F02D-041/14; F02D-041/16; F02D-041/30;  
MC: X22-A03A;  
DC: Q52; X22;  
FN: 1999072180.gif  
PR: DE1041965 23.09.1997;  
FP: 21.01.1999  
UP: 15.11.2001

THIS PAGE BLANK (USPTO)



**THIS PAGE BLANK (USE)**



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Patentschrift DE 197 41 965 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 02 D 41/14**  
F 02 D 41/30

21 Aktenzeichen: 197 41 965.8-26  
22 Anmeldetag: 23. 9. 97  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 21. 1. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

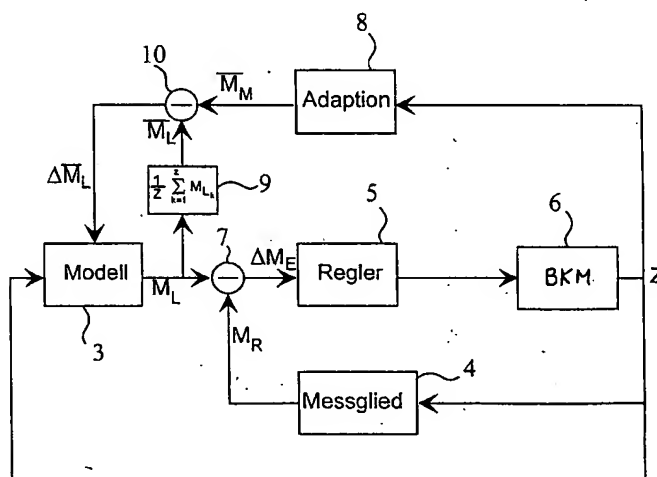
72 Erfinder:  
Przymusinski, Achim, 93053 Regensburg, DE;  
Heinitz, Dirk, 93152 Deckelstein, DE; Hartke,  
Andreas, 93049 Regensburg, DE

55 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 1 96 49 424 A1  
DE 41 22 139 A1

## 54 Verfahren zur Laufruheregung

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Laufruheregung einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine. Ein inverses Streckenmodell schätzt aus Zustandsgrößen der Brennkraftmaschine, das sind Istwerte insbesondere Drehzahl, Kraftstoffmenge, Betriebstemperatur, Ladedruck, etc. eine charakteristische Prozeßgröße. Dieser Sollwert wird mit dem Istwert, der von einem Meßglied aus Zustandsgrößen der Brennkraftmaschine bestimmt wird, verglichen. Dieser Istwert zeigt den Drehbeschleunigungsbeitrag eines jeden Zylinders. Die Differenz von Ist- und Sollwert wird einem Regler zugeführt, der die Verbrennung in den einzelnen Zylindern so korrigiert, daß der Istwert sich dem Sollwert annähert. Dadurch ist gewährleistet, daß die Laufruheregung sowohl für stationäre als auch für instationäre Betriebsphasen der Brennkraftmaschine wirkt.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Laufruheregelung bei einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bei laufender Brennkraftmaschine treten Drehungleichförmigkeiten auf, die durch systematische Fehler am Kraftstoffzumeßsystem und an der Brennkraftmaschine selbst verursacht sind. Durch diese Abweichungen leisten die einzelnen Zylinder einen unterschiedlichen Beitrag zum abgegebenen Moment. Dabei spielen unter anderem Toleranzen der Maschine, insbesondere einzelner Einspritzkomponenten eine Rolle, die nur mit einem besonders hohen Aufwand reduzierbar sind. Die unterschiedlichen Momentenbeiträge der einzelnen Zylinder wirken sich im stationären Betrieb (z. B. im Leerlauf) durch ein Schütteln des Fahrzeuges aus. Im instationären Betrieb kommt es durch die unterschiedlichen Momentenzuwächse zu einer ungleichförmigen Beschleunigung und zu einer Verschlechterung der Abgaswerte.

Aus DE 41 22 139 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem die Drehbeschleunigung jedes einzelnen Zylinders erfaßt wird und Abweichungen zwischen den einzelnen Zylindern durch Änderung der den Zylindern zugeteilten Kraftstoffmengen ausgeglichen werden.

In der DE 196 49 424 A1 ist ein Motorgeschwindigkeitssterverfahren zum Steuern des Motorausgangsdrehmomentes gemäß einem Motordrehmomentbedarfes für eine Brennkraftmaschine bekannt, das als das Drehmoment bestimmt ist, das erforderlich ist, um die Motorgeschwindigkeit einer Zielmotorgeschwindigkeit zu steuern. Dabei wird eine vorbestimmte Festlegung von abgeschätzten Bedarfswerten für ein stationäres Drehmoment als eine Funktion von einem vorbestimmten Motorarbeitszustand gespeichert. Der gegenwärtige Motorarbeitszustand wird bestimmt und aus der gespeicherten Festlegung ein gegenwärtiger abgeschätzter stationärer Drehmomentbedarf als eine Funktion von den gegenwärtigen Motorarbeitszustand festgestellt und der Fehler des stationären Drehmomentbedarfs abgeschätzt. Der gegenwärtige stationäre Drehmomentbedarf wird in einer Richtung eingestellt um den abgeschätzten Fehler des stationären Drehmomentbedarfs zu minimieren und das Motorausgangsdrehmoment wird gemäß dem eingestellten gegenwärtigen stationären Drehmomentbedarf gesteuert.

Es liegt der Erfindung somit die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Laufruheregelung einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine anzugeben.

Die genannte Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet (Ansprüche 2 bis 5).

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht also ein Prozeßmodell vor, das aus den laufend bestimmten Zustandsgrößen der Brennkraftmaschine eine charakteristische Prozeßgröße schätzt, die den Sollwert für die Motorregelung darstellt. Zustandsgrößen sind Istwerte, insbesondere die Drehzahl, der der Brennkraftmaschine zugeführte Kraftstoffmenge, sowie Betriebstemperatur, Ladedruck und Abgasrückführparameter. Charakteristische Prozeßgröße kann insbesondere Drehmoment oder die Drehzahl sein (vergl. Ansprüche 3 und 4).

Diese Schätzung wird mit einem entsprechenden Istwert verglichen, der aus einer der gemessenen Zustandsgrößen bestimmt wird. Aus diesem Istwert ergibt sich der Drehbeschleunigungsbeitrag jedes einzelnen Zylinders. Ein Regler korrigiert die Verbrennung in den einzelnen Zylindern so, daß der Istwert sich dem Sollwert annähert. Die unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Zylinder werden somit ausgeglichen. Als weiteren Vorteil des erfindungsgemäßen Ver-

fahrens wirkt diese Laufruheregelung sowohl für stationäre als auch für instationäre Betriebsphasen der Brennkraftmaschine.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt:

Fig. 1 einen Graph mit mittlerem Drehmoment und zylinderspezifischem Drehmoment einer Brennkraftmaschine;

Fig. 2 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Regelverfahrens,

Fig. 3 fünf Graphen mit dem zeitlichen Verlauf verschiedener Parameter, wobei

Fig. 3a den zeitlichen Verlauf der zugeführten Kraftstoffmasse,

Fig. 3b den zeitlichen Verlauf der Drehzahl,

Fig. 3c den zeitlichen Verlauf eines aus der gemessenen Zustandsgröße bestimmten Istwertes  $M_R$ ,

Fig. 3d den Wert einer geschätzten, charakteristischen Prozeßgröße  $M_L$ ,

Fig. 3e den zeitlichen Verlauf einer Regeldifferenz  $\Delta M_E$  darstellt.

In Fig. 1 ist das mittlere Drehmoment einer Brennkraftmaschine sowie das spezifische Drehmoment der einzelnen Zylinder über der Kurbelwellenstellung  $\alpha$  aufgetragen. Wie man sieht, leisten die Zylinder I bis IV eines Vierzylinder-motors unterschiedliche Beiträge zum mittleren Drehmoment, das in Kurve 1 dargestellt ist. Kurve 2, nämlich das spezifische Drehmoment, durchläuft ein sich nach jedem Arbeitsspiel wiederholendes Muster. Die Beiträge der einzelnen Zylinder sind mit I, II, III und IV bezeichnet. Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, die systematisch bedingten unterschiedlichen Momentenbeiträge durch Änderung der Kraftstoffzumessung für die einzelnen Zylinder so auszugleichen, daß alle Zylinder das gleiche mittlere Drehmoment abgeben. Dieses hier für einen Vierzylinder dargestellte Verfahren ist natürlich auch für Brennkraftmaschinen mit beliebiger anderer Zylinderzahl anwendbar.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer Einrichtung zum Durchführen des Regelungsverfahrens. Ein Modell 3 ist ein inverses Streckenmodell, das durch Kennfelder oder Differentialgleichungen hinterlegt ist. Das Modell 3 schätzt aus Zustandsgrößen Z (z. B. Drehzahl, eingespritzte Kraftstoffmasse, Ladedruck) der Brennkraftmaschine 6 eine charakteristische Prozeßgröße  $M_L$ , z. B. die zu erwartende Drehzahländerung der Kurbelwelle. Ein Meßglied 4 mißt die tatsächliche Drehzahl und berechnet daraus die Drehzahländerung. Dieser Istwert  $M_R$  erfaßt den Drehbeschleunigungsbeitrag jedes einzelnen Zylinders. Ein Differenzglied 7 rechnet aus dem Sollwert  $M_L$  und dem Istwert  $M_R$  eine Regeldifferenz  $\Delta M_E$ , die einem Regler 5 zugeführt wird. Der Regler 5 führt jedem Zylinder eine solche Kraftstoffmasse zu, daß die Regeldifferenz  $\Delta M_E$  minimiert wird. Zur Adaption des Modells 3 ist in Fig. 2 noch eine Schaltung 8, 9, 10 vorgesehen, worauf noch eingegangen wird.

Fig. 3 zeigt den Verlauf relevanter Größen im erfindungsgemäßen Regelungsverfahren. In Fig. 3a ist die Masse  $m$  des der Brennkraftmaschine zugeführten Kraftstoffes über die Zeit  $t$  aufgetragen. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird die Kraftstoffmasse  $m$  linear bis zum Zeitpunkt  $t_2$  erhöht, indem die Fahrpedalstellung verändert wird. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird die zugeleitete Kraftstoffmasse bis zum Zeitpunkt  $t_4$  wieder auf den ursprünglichen Wert zurückgenommen. In Fig. 3b ist der dazugehörige Drehzahlverlauf  $N$  aufgezeichnet. Ab dem Zeitpunkt  $t_1$  erhöht sich die Drehzahl bis zu einem Maximalwert und ab  $t_3$ , wenn der Fahrer das Fahrpedal wieder zurücknimmt, sinkt sie auf den ursprünglichen Wert ab. In Fig. 3d ist die vom Prozeßmodell 3 aus den die Brennkraftmaschine beschreibenden Zustandsgrößen geschätzte charakteristische Prozeßgröße  $M_L$  dargestellt. Das Modell schätzt mit

Hilfe eines inversen Streckenmodells, das durch Kennfelder hinterlegt ist, die charakteristische Prozeßgröße. In diesem Ausführungsbeispiel schätzt das Modell 3 die Änderung der Drehzahl, also den Verlauf der Drehbeschleunigung  $M_L$ . Zur Schätzung des Drehbeschleunigungsverlaufes  $M_L$  verwendet das Modell 3 gemessene Zustandsgrößen  $Z$  der Brennkraftmaschine, wie Drehzahl und eingespritzte Kraftstoffmasse. Es sind darüber hinaus aber noch weitere gemessene Zustandsgrößen  $Z$ , wie z. B. Ladedruck, Abgasrückführung, Einspritzbeginnwinkel, etc. denkbar. Als charakteristische Prozeßgröße  $M_L$  kann auch das von der Brennkraftmaschine abgegebene Moment angesehen werden. Die charakteristische Größe  $M_L$  wird innerhalb des Modells 3 z. B. hinsichtlich Umwelteinflüsse (Kühlmitteltemperatur) korrigiert.

In Fig. 3c ist der zeitliche Verlauf der Drehzahländerung dargestellt. Das Meßglied 4 mißt die Drehzahl und berechnet die Drehzahländerung. Der Istwert  $M_R$  stellt somit den Drehbeschleunigungsbeitrag jedes einzelnen Zylinders dar. In Fig. 3c sieht man deutlich den gezackten Kurvenverlauf, wobei die Zackenspitzen jeweils den Beitrag jedes einzelnen Zylinders wiedergeben. In dem Differenzglied 7 wird aus dem Istwert  $M_R$  und dem vom Modell geschätzten Sollwert  $M_L$  der Drehzahländerung eine Regeldifferenz  $\Delta M_E$  für den Regler 5 gebildet. Hierfür muß das Modell 3 die charakteristische Prozeßgröße in einer zeitlichen Auflösung schätzen, die der zeitlichen Auflösung des Istwerts entspricht.

Die Regeldifferenz  $\Delta M_E$  ist in Fig. 3e über der Zeit aufgetragen. Wie zu sehen ist, ist sie völlig unabhängig davon, ob die Brennkraftmaschine in einem stationären Betriebszustand (vor dem Zeitpunkt  $t_1$ ), oder in einer instationären Betriebsphase arbeitet, also zwischen  $t_1$  und  $t_2$ . Die Regeldifferenz  $\Delta M_E$  drückt nur noch die Beiträge der einzelnen Zylinder zur Laufunruhe aus. Jeder Zacken ist dem Beitrag eines Zylinders zugeordnet. Damit ist der Regler 5 in der Lage, den Verbrennungsvorgang in den einzelnen Zylindern der Brennkraftmaschine so zu korrigieren, daß die Regeldifferenz  $\Delta M_E$  minimal wird. Die Stellgröße für die Brennkraftmaschine ist die eingespritzte Kraftstoffmasse. Es ist aber auch denkbar, die Einspritzzeit oder jede andere Größe, die das abgegebene Moment des einzelnen Zylinders beeinflusst, zu verwenden.

Die einzelnen Regelalgorithmen des Reglers 5 sollen das mittlere abgegebene Moment der Brennkraftmaschine im Mittel nicht verändern, d. h. das Verfahren soll zu keiner Veränderung des insgesamt abgegebenen Momentes führen. Solche Momentveränderungen treten jedoch auf, wenn die Sollwertschätzung  $M_L$  des Modells 3 nicht korrekt ist. Ein solcher Fehler kann z. B. maschinenseitig bedingt sein, insbesondere durch Alterungserscheinungen, oder durch nicht im Modell 3 berücksichtigte langsam veränderliche Umwelteinflüsse, wie z. B. den Umgebungsdruck. Deshalb soll in einer bevorzugten Ausführungsform das Modell 3 in einem stationären Betriebspunkt adaptiert werden, z. B. im Leerlauf oder bei Vollast. In einem Meßglied zur Adaption 8 wird die Drehzahländerung  $M_M$  gemessen und über mindestens ein Arbeitsspiel der Brennkraftmaschine 6 zu  $\bar{M}_M$  gemittelt. Ferner wird die geschätzte Prozeßgröße des Modells 3 in einer Mittelwertbildung gemittelt und der Mittelwert  $M_L$  zusammen mit  $\bar{M}_M$  liefert in einem Differenzglied 10 einen Modellfehler  $\Delta \bar{M}_L$ . Das Modell 3 wird nun so korrigiert, daß der rückgeführte Modellfehler  $\Delta \bar{M}_L$  zu Null wird.

Wenn der Regler 5 sein Regelziel, die Größe  $\Delta M_E$  zu minimieren oder idealerweise zu Null zu machen, nicht erreicht, so kann eine Fehlermeldung erzeugt werden. Der Fehlerzustand zeigt dann eine Fehlfunktion des entsprechenden Zylinders an, z. B. ungenügende Kompression oder ein Schaden im Einspritzsystem.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Laufrieheregelung einer Mehrzylinderbrennkraftmaschine, bei dem die Drehbeschleunigung jedes einzelnen Zylinders erfaßt wird und die Abweichungen zwischen den einzelnen Zylindern von einer Motorregelung durch Änderung der zugeteilten Kraftstoffmenge für jeden einzelnen Zylinder ausgeglichen werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß laufend bestimmte Zustandsgrößen  $Z$  des Motors (6) gemessen werden, ein Modell (3) aus diesen Zustandsgrößen ( $Z$ ) eine charakteristische Prozeßgröße ( $M_L$ ) schätzt, die einen Sollwert für die Motorregelung darstellt, ein momentaner Istwert ( $M_R$ ) aus einer dem Sollwert entsprechenden, gemessenen Zustandsgröße ( $Z$ ) bestimmt wird, wobei der Drehbeschleunigungsbeitrag jedes einzelnen Zylinders in den Istwert ( $M_R$ ) eingeht, und aus dem Sollwert ( $M_L$ ) und dem Istwert ( $M_R$ ) eine Regeldifferenz ( $\Delta M_E$ ) für einen Regler (5) gebildet wird, der die Verbrennung in den einzelnen Zylindern so korrigiert, daß die Regeldifferenz ( $\Delta M_E$ ) minimal wird und das Modell (3) in stationären Betriebspunkten an Veränderungen der Regelstreckenparameter, insbesondere Alterungserscheinungen der Brennkraftmaschine (6) adaptiert wird, indem die vom Modell (3) geschätzte Größe ( $M_L$ ) in einem Element (9) gemittelt wird, von einer Adaptionfunktion ein entsprechender tatsächlicher Wert ( $\bar{M}_M$ ) für diesen stationären Betriebspunkt bestimmt wird und das Modell (3) so geändert wird, daß die Differenz zwischen dem gemittelten Wert ( $\bar{M}_L$ ) und dem tatsächlichen Wert ( $\bar{M}_M$ ) Null ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Fehlerzustand angezeigt wird, insbesondere ein Zylinderausfall, wenn es dem Regler (5) nicht gelingt, die Verbrennung in den einzelnen Zylindern so zu korrigieren, daß die Regeldifferenz ( $\Delta M_E$ ) minimal wird.
3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Soll-/Istwert das Drehmoment verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Soll-/Istwert der Drehzahlverlauf verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Modell (3) ein inverses Streckenmodell verwendet, das durch Kennfelder hinterlegt ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

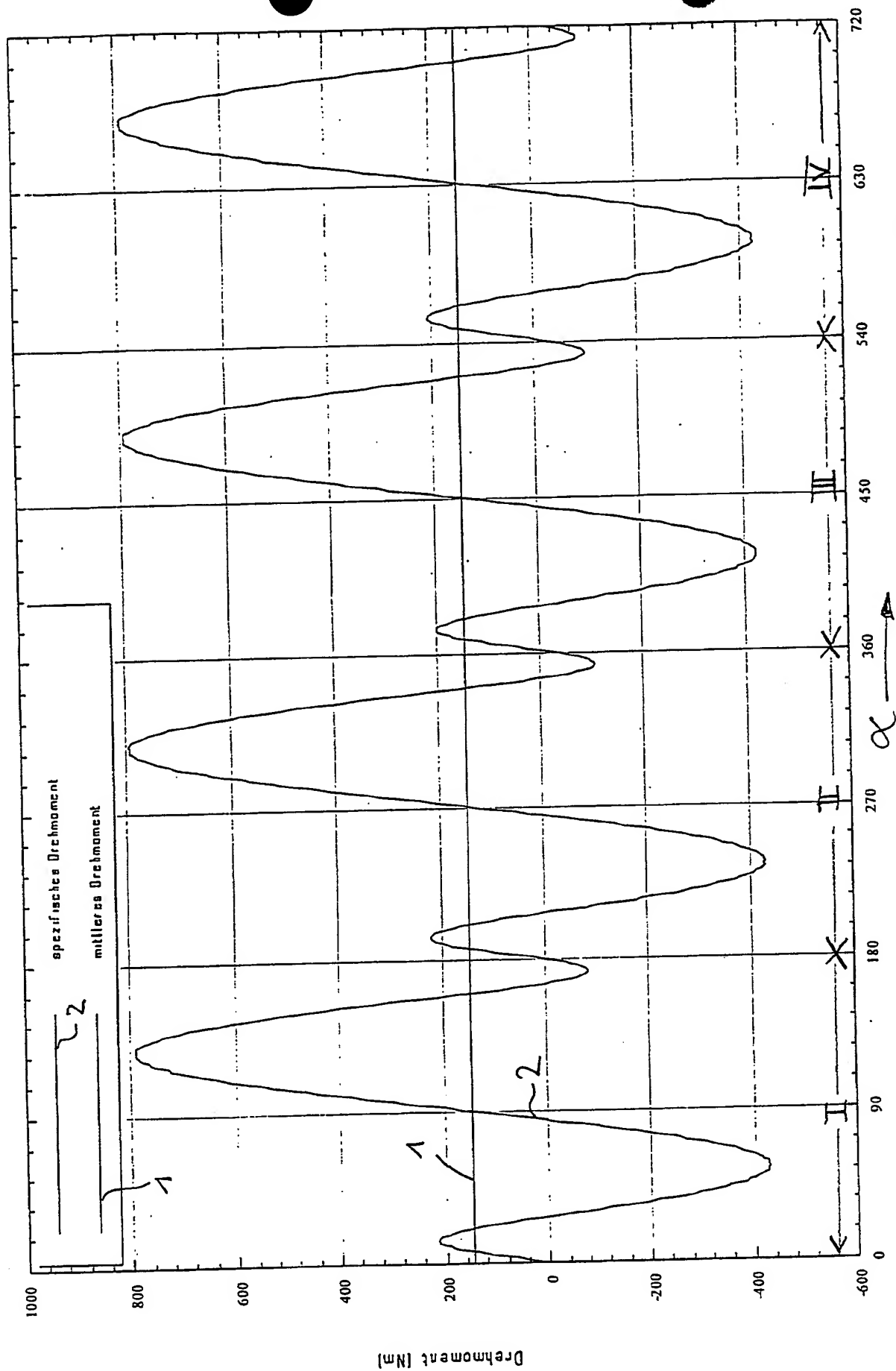


Fig 1





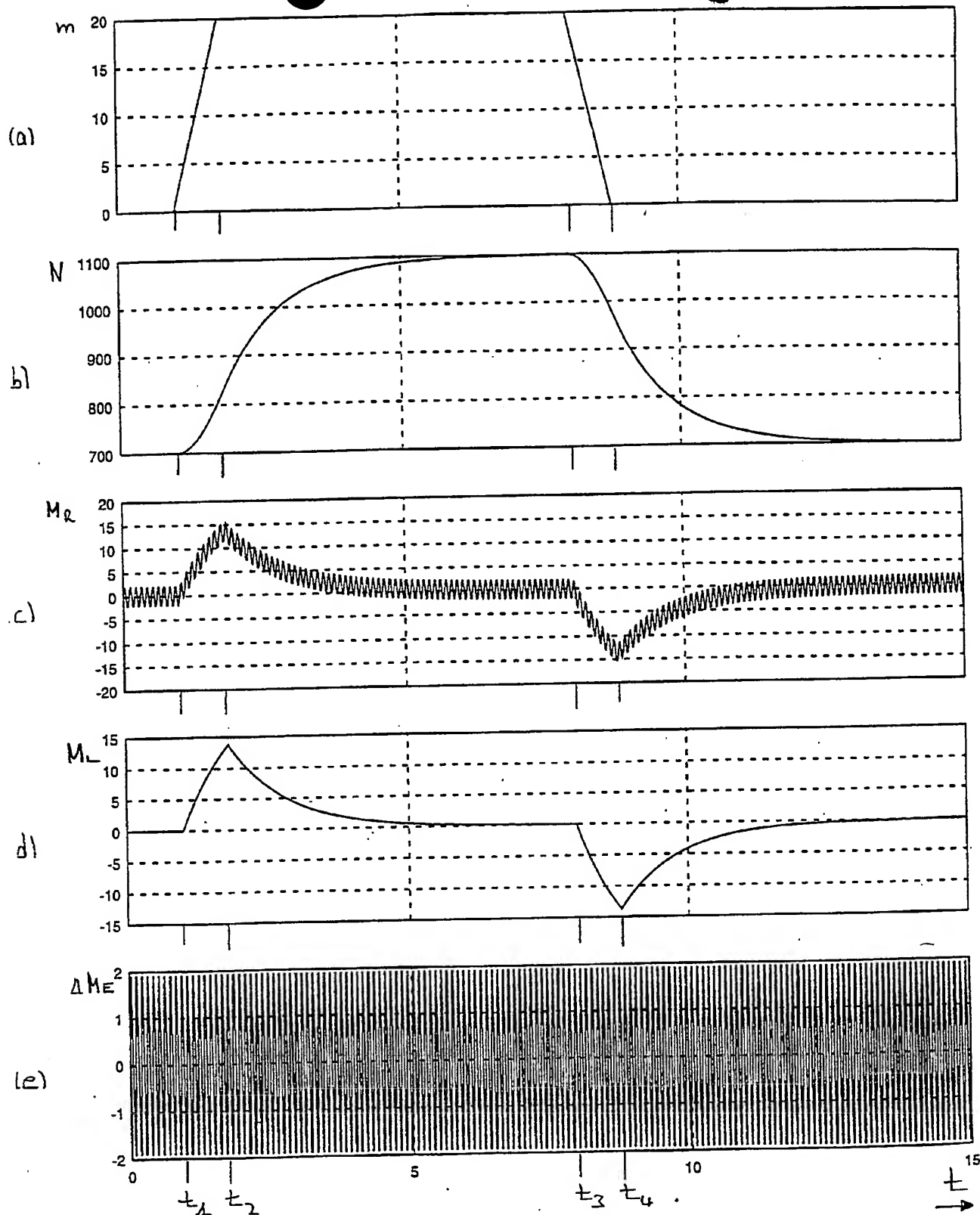


Fig. 3